Über die Anwendung des selbstregistrierenden Mikrometers bei der Polhöhenbestimmung im ersten Vertikal nach der Struveschen Methode

Verkürzte Fassung der

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der

Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Basel

von

Joachim Otto Fleckenstein

aus Düsseldorf (Deutschland)

BERLIN-DAHLEM 1940

VERLAG DER ASTRONOMISCHEN NACHRICHTEN

Genehmigt von der
philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel
auf Antrag der Herren Professoren Th. Niethammer und W. Brunner (Zürich)

Basel, den 4. Juli 1939

P. Ruggli
Dekan

Herrn Otto Fleckenstein wurde von der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel am 4. Juli 1939 erlaubt, diese verkürzte Fassung seiner Inauguraldissertation drucken zu lassen. Die vollinhaltliche Arbeit mit dem Titel:

Über die Anwendung des selbstregistrierenden Mikrometers bei der Polhöhenbestimmung im ersten Vertikal nach der Struveschen Methode

kann eingesehen oder entliehen werden:

1. in der astronomisch-meteorologischen Anstalt der Universität Basel;
2. in der Universitätsbibliothek Basel;
3. in der schweizerischen Landesbibliothek in Bern.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Separatabdruck aus Astronomische Nachrichten, Band 269, Heft 6, 1939

Durchgangsbeobachtungen im ersten Vertikal mit dem Repsoldschen Mikrometer*)

Von J. O. Fleckenstein, Basel

Eingegangen 1939 Juli 26

Die höchste innere Genauigkeit bei Zeitbestimmungen im Meridian erreicht man bekanntlich bei Verwendung des selbstregistrierenden Mikrometers von Repsold, das die persönlichen Fehler fast völlig eliminiert. Diesen hohen Genauigkeitsgrad für die Polhöhenbestimmung durch Passagenbeobachtungen im ersten Vertikal nach der Struveschen Methode auszunutzen, wurde schon von T. Albrecht[1]) empfohlen, bisher aber m. W. noch nicht ausgeführt. Im folgenden soll nun über die Erfahrungen mit diesem Verfahren bei der Bestimmung der Polhöhe des Passageninstruments Bamberg 8803 der Basler Sternwarte berichtet werden.

1.

Die Verwendung des unpersönlichen Mikrometers im 1. Vertikal setzt die Konstruktion einer automatischen Nachführung des Fernrohrs in Zenitdistanz voraus, derart, daß die Sterne beim Passieren des ersten Vertikals senkrecht zum Vertikalfaden durch das Gesichtsfeld laufen, da sonst der schräge Sterndurchgang den Vorteil des Repsoldschen Verfahrens wieder illusorisch macht. Da im ersten Vertikal und — abgesehen von Gliedern zweiter und höherer Ordnung auch in unmittelbarer Nähe — die zeitliche Änderung der Zenitdistanz

$$\frac{dz}{dt} = \pm \cos\varphi \tag{1}$$

von der Deklination der Sterne unabhängig ist, kann mit Hilfe eines Synchronmotors leicht eine Nachführung besorgt werden. Die Abb. 1 zeigt die Einrichtung am Basler Passageninstrument.

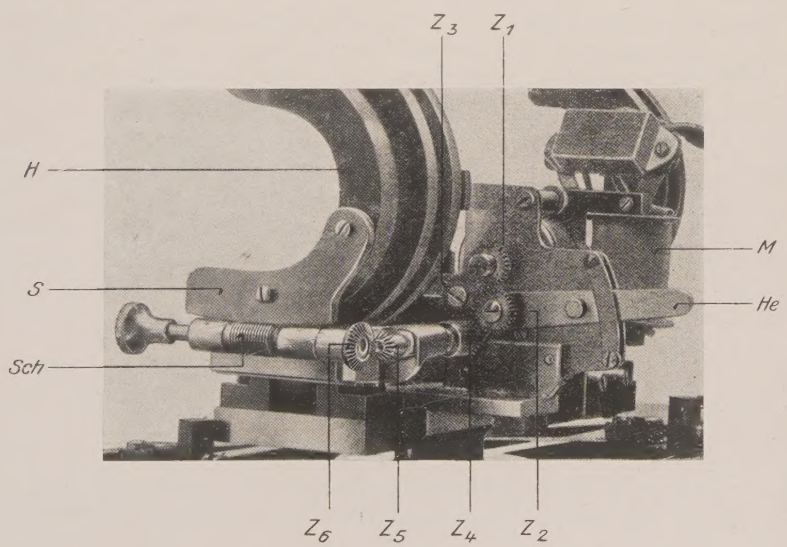

Abb. 1
Vorrichtung zum automatischen Nachführen in Zenitdistanz

*) Verkürzte Fassung einer von der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel genehmigten Dissertation.

[1]) Formeln und Hilfstafeln, 3. Aufl., S. 60. Leipzig 1894.

Ein Synchronmotor M mit 50 Perioden/sec besitzt ein Getriebe, das eine austretende Welle in einer Minute einmal herumdreht (s. Abb. 1). Auf dieser Welle sitzt das Zahnrad Z_1. In Bogenminuten ändert sich die Zenitdistanz um

$$\Delta z' = 15 \cos\varphi \, \Delta t^m = 10'.126 \, \Delta t^m \qquad \text{bei Polhöhe } \varphi = 47^\circ 32'.$$

Die Änderung in Zenitdistanz kann man mechanisch durch ein Schneckenradsegment S erreichen, welches fest mit dem unteren Teil des Hebelarms H verbunden ist, der beim Passageninstrument die Feineinstellung in Zenitdistanz vermittelt. Das Schneckenradsegment wird von einer Schnecke *Sch* bewegt, die ihrerseits wieder durch Zahnradübertragung von Z_6, Z_5, Z_4, Z_3, Z_2 bis Z_1 von der Welle des Synchronmotors getrieben wird. Bei einer Ganghöhe von $\frac{1}{2}$ mm braucht man dem Radius des Schneckenradsegmentes nur die Länge von 339.5 mm zu geben, damit in einer Minute sich die Zenitdistanz um 10'.126 ändert. Die Ganghöhe der Schnecke kann man bei passendem Übersetzungsverhältnis der Zahnräder Z_5 und Z_6 noch entsprechend ändern. Das Zahnrad Z_1 sitzt auf der Welle des Motors und bewegt sich nur in einer Richtung. Eine Umkehr der Bewegungsrichtung in Zenitdistanz erzielt man durch Zahnradwechselschaltung der Räder Z_2 und Z_3. Das Rad Z_3 greift stets in Rad Z_2 und Z_4 ein. Je nach der Stellung des Hebels *He* wird Z_3 direkt mit Z_1 verbunden, so daß Z_2 leerläuft, oder Z_3 über Z_2 mit Z_1 verbunden, wodurch die Bewegungsrichtung von Z_4 umgekehrt wird. In der mittleren Nullstellung des Hebels sind die Räder Z_2, Z_3 mit Z_1 nicht verbunden, womit die Nachführung ausgeschaltet wird.

Die beschriebene Einrichtung bewegt das Fernrohr genügend genau der Sternbewegung nach, um, wie bei Meridianbeobachtungen, auch im ersten Vertikal stets an der gleichen Stelle des Mikrometerfadens die andauernde Bisektion des Sternes aufrechtzuhalten.

2.

Die genauesten Methoden zur Polhöhenbestimmung sind bekanntlich das Verfahren der Messung von Zenitdistanzen im Meridian nach Horrebow-Talcott und das Verfahren der Zeitbestimmung im ersten Vertikal nach Struve. Obwohl prinzipiell die Methode von Struve eine größere innere Genauigkeit als die Horrebowsche besitzt, kann man in praxi beide Methoden als etwa gleich genau veranschlagen, wie auch aus den Pulkowaer Beobachtungsreihen[1]) hervorgeht. Die Struvesche Methode verlangt neben einer guten Uhr eine stabile Aufstellung des Instrumentes, die man bei festen Stationsbeobachtungen zwar voraussetzen, aber doch nicht immer genügend genau kontrollieren kann. Die Methode des Umlegens des Fernrohrs während des West- und des Ostdurchgangs des Sterns ist besonders für das unpersönliche Mikrometer geeignet, da man in beiden Kreislagen immer nur an den gleichen Stellen der Mikrometerschraube beobachtet, wodurch man von etwaigen Fehlern der Schraube vollständig frei wird.

3.

Bei Benutzung des unpersönlichen Mikrometers muß man an die beobachteten Durchgangszeiten eine Korrektion wegen Kontaktbreite und toten Ganges der Mikrometerschraube anbringen. Sind U_i' $(i = 1, 2, 3, 4)$ die 4 Sternzeiten, die sich auf den Moment des Stromschlusses am gleichen Kontakt der Mikrometertrommel, U_i $(i = 1, 2, 3, 4)$ die 4 Sternzeiten, die sich auf diejenige Stellung des beweglichen Fadens, wo die Kontaktspitze auf der Mitte des Kontaktstreifens steht, beziehen, so ist $\Delta c_i = U_i - U_i'$ die Korrektion wegen

$$c = \tfrac{1}{2}(\text{Kontaktbreite} + \text{toter Gang}).$$

Zwischen $m_i = \frac{1}{4}\Sigma U_i - \alpha$, dem als konstant betrachteten Instrumentenazimut k und der Neigung I besteht dann die Beziehung[2])

$$\cos n \sin m_i = \sin k \cos I,$$

wenn man die Poldistanz des Nordendes der Instrumentachse gleich $90^\circ - n$ setzt. Für $I = 0$ wird $90^\circ - n = \varphi$ bei kleinem k. Bei Vernachlässigung von Größen der Ordnung I hat man dann

$$m = k \operatorname{cosec} \varphi . \qquad (2)$$

$90^\circ - (F \pm c)$ ist der Abstand des beweglichen Fadens vom Nordende der Horizontalachse des Instru-

[1]) S. Kostinsky: Beobachtungen von δ Cassiopejae. Mitt. Nikolai-Hauptsternw. Pulkowo **2**, 65 (1907).
[2]) Herr-Tinter: Lehrbuch der sphärischen Astronomie, S. 457. Wien 1887.

ments vor respektive nach dem Umlegen beim Ostdurchgang. Mit den Stundenwinkeln $t_i = |U_i - \alpha|$, $t_i' = |U_i' - \alpha|$ hat man die Beziehungen

$$\left.\begin{array}{lll} \text{Ostdurchgang vor Umlegen} & \sin(F+c) - \sin F = -\cos\delta \sin(\varphi - I_1)\,[\cos(t_1' + m_1) - \cos(t_1 + m_1)] \\ \text{» nach »} & -\sin(F-c) + \sin F = -\cos\delta \sin(\varphi - I_2)\,[\cos(t_2' + m_2) - \cos(t_2 + m_2)] \\ \text{Westdurchgang vor Umlegen} & -\sin(F+c) + \sin F = -\cos\delta \sin(\varphi - I_3)\,[\cos(t_3' - m_3) - \cos(t_3 - m_3)] \\ \text{» nach »} & \sin(F-c) - \sin F = -\cos\delta \sin(\varphi - I_4)\,[\cos(t_4' - m_4) - \cos(t_4 - m_4)] \end{array}\right\} . \tag{3}$$

Vernachlässigt man Größen von der Ordnung I neben 1, so daß

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 ,$$

so folgt aus den Gleichungen (3)

$$\left(\frac{t_i' + t_i}{2} = t_i' + \cdots\right) \qquad \Delta c_i = \frac{c \cos F}{\cos\delta \sin\varphi \sin(t_i' \pm m)} \qquad \begin{array}{l} +* \text{ Ost} \\ -* \text{ West} . \end{array} \tag{4}$$

Setzt man das Glied 1. Ordnung der Entwicklung von Δc_i, mit dem man im allgemeinen immer auskommt, gleich

$$\Delta c_i' = \frac{c \cos F}{\cos\delta \sin\varphi \sin t_i'} ,$$

so ist

$$\Delta c_i - \Delta c_i' = \mp \Delta c_i' \; k \operatorname{cosec}\varphi \operatorname{ctg} t_i' \qquad \begin{array}{l} -* \text{ Ost} \\ +* \text{ West} \end{array}$$

das im allgemeinen zu vernachlässigende Glied 2. Ordnung.

Mit den Abkürzungen

$$t' = \tfrac{1}{2}(U_4 - U_1) \qquad i_E = \tfrac{1}{2}(I_1 + I_2)$$
$$t'' = \tfrac{1}{2}(U_3 - U_2) \qquad i_W = \tfrac{1}{2}(I_3 + I_4)$$

folgt dann die Polhöhe aus den bekannten Gleichungen[1])

$$\left.\begin{array}{l} \operatorname{tg}\varphi' = \operatorname{tg}\delta \sec\tfrac{1}{2}(t' + t'') \sec\tfrac{1}{2}(t' - t'') \cos m \\ \varphi = \varphi' + \tfrac{1}{2}(i_E + i_W) . \end{array}\right\} \tag{5}$$

Setzt man $U_i = U_i' + \Delta c_i'$, so vernachlässigt man das Glied 2. Ordnung, das bei Einführen eines Durchschnittswertes $\frac{1}{4}\Sigma\Delta c_i' = \Delta c'$

$$\begin{array}{lll} \text{in } \tfrac{1}{2}(t' + t'') = \tfrac{1}{4}(U_4 - U_1 + U_3 - U_2) & \tfrac{1}{4}\Delta c' \; k \operatorname{cosec}\varphi \, \Sigma \operatorname{ctg} t_i' , \\ \text{in } \tfrac{1}{2}(t' - t'') = \tfrac{1}{4}(U_4 - U_1 + U_2 - U_3) & \tfrac{1}{4}\Delta c' \; k \operatorname{cosec}\varphi \,[(\operatorname{ctg} t_1' - \operatorname{ctg} t_2') - (\operatorname{ctg} t_3' - \operatorname{ctg} t_4')] \\ \text{und in } m = \tfrac{1}{4}(U_1 + U_2 + U_3 + U_4) - \alpha & \tfrac{1}{4}\Delta c' \; k \operatorname{cosec}\varphi \,[-(\operatorname{ctg} t_1' - \operatorname{ctg} t_4') - (\operatorname{ctg} t_2' - \operatorname{ctg} t_3')] \end{array}$$

ausmacht.

Da nun $\operatorname{ctg} t_1' - \operatorname{ctg} t_2' \approx 0$; $\operatorname{ctg} t_3' - \operatorname{ctg} t_4' \approx 0$ ist, so sind auch die Klammerausdrücke klein. Einen merklichen Fehler begeht man bei Vernachlässigung der Glieder 2. Ordnung also nur bei $\frac{1}{2}(t' + t'')$ in einem Betrag von

$$\Delta c' \; k \operatorname{cosec}\varphi \sum_{i=1}^{4} \operatorname{ctg} t_i' .$$

Ein Fehler $d\tau$ in der Zeit bedingt im ersten Vertikal in der Polhöhe den Fehler

$$d\varphi = \sin\varphi \operatorname{tg} z \, d\tau . \tag{6}$$

Die obige Korrektion hat in Bogensekunden bei $\varphi = 47^\circ 32'$ z. B. den Wert:

$\varphi - \delta$	t_1	k	$d\varphi$
0° 10′	$24^m.8$	4^s	$0''.003$
1 0	60.3	6	0.001
2 0	84.8	8	0.001

Durch Drehung des Döllenschen Untersatzes des Instrumentes kann man das Azimut immer so klein halten, daß sein Einfluß in jeder Hinsicht verschwindet. Die Korrektion wegen Kontaktbreite und toten Ganges kann also bei der Polhöhenbestimmung vernachlässigt werden, da bei $\frac{1}{2}(t' + t'')$ und $\frac{1}{2}(t' - t'')$ die Glieder 1. Ordnung herausfallen, die Glieder 2. Ordnung aber normalerweise immer hinreichend

[1]) loc. cit. S. 503, siehe Fußnote 2, S. 324.

klein sind. Nur bei der Azimutbestimmung geht in m der volle Betrag des Gliedes 1. Ordnung ein.

Ist

$$\mu = \sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{v}\right)^2 \sec^2\delta \sec^2 q}$$

der mittlere Antrittsfehler eines Sternes an einen Faden im Meridian, so hat man für diesen Fehler im ersten Vertikal bei der Beobachtung nach Struve bei 4 Einzelkontakten an n Trommelstellen, da im ersten Vertikal $\cos\delta \cos q = \sin\varphi \sin z$ ist,

$$\mu_\varphi = \sin\varphi \operatorname{tg} z \frac{\mu}{2\sqrt{2n}} = \frac{\sec z}{2\sqrt{2n}} \sqrt{\left(\frac{b}{v}\right)^2 + a^2 \sin^2\varphi \sin^2 z},$$

oder genähert für zenitnahe Sterne, wenn b in Zeitsekunden und μ_φ in Bogensekunden gemessen wird

$$\mu_\varphi = \frac{15}{2\sqrt{2n}} \cdot \frac{b}{v} \qquad (v = \text{Vergrößerungszahl}). \tag{7}$$

Diese Formel gibt die innere Genauigkeit unserer Methode an. Die Korrektionen der Polhöhe wegen Gangänderung $\mathrm{d}g$ und Azimutänderung $\mathrm{d}k$ sind

$$\mathrm{d}\varphi = -\tfrac{1}{2}\mathrm{d}g \sin 2\varphi \operatorname{tg} 2t \qquad \mathrm{d}\varphi = -\tfrac{1}{2}\mathrm{d}k \operatorname{tg} z. \tag{8}$$

4.

Die Beobachtungen wurden von Ende Januar 1939 bis Ende Mai 1939 mit dem Passageninstrument Bamberg 8803[1]) (Vergrößerung 70, Brennweite 660 mm, Objektivöffnung 6.7) ausgeführt. Das Programm sah die Beobachtung von durchschnittlich 4 Sternen pro Abend vor, konnte aber wegen der in diesem Jahre in Basel besonders ungünstigen Witterung nicht eingehalten werden, so daß an manchen Abenden nur ein Stern beobachtet wurde.

Das Instrument ist auf einem massiven Pfeilerblock in einem Beobachtungshaus untergebracht, das im Stil der Hütten des internationalen Breitendienstes gebaut ist. Die Aufstellung des Instrumentes kann als so stabil angesehen werden, daß Unstetigkeiten in den Aufstellungsfehlern nicht auftreten. Der absolute Betrag der Azimute lag meistens unter $3^s.5$. Das größte gemessene Instrumentenazimut war $6^s.24$.

Die Neigungen, auf deren Bestimmung besondere Sorgfalt zu legen ist, da sie im vollen Betrag in das Resultat der Polhöhe eingehen, konnten durch jeweiliges Nivellieren der Horizontalachse des Instruments sehr klein gehalten werden. Zwecks Erhöhung der Genauigkeit der Neigungsbestimmung wurden bei jedem Sterndurchgang durch den Vertikal vor und nach dem Umlegen in gleichen Zeitintervallen je drei Niveauablesungen gemacht, so daß jede Neigung i_E, i_W aus 3 Bestimmungen resultiert. Die Neigungen wiesen ein regelmäßiges Verhalten auf; sie zeigten sich pro Abend der Zeit und der Temperatur proportional und reagierten sehr empfindlich auf Temperatureinflüsse, indem ein anormaler Neigungsverlauf oft einen anormalen Temperaturverlauf verriet. Gemessen wurden die Neigungen mit einem Hängeniveau, dessen Parswert nach einer an verschiedenen Daten bei verschiedenen Blasenlängen und Temperaturen ausgeführten Untersuchung am Niveauprüfer nur eine schwache Abhängigkeit von Stellung der Niveaublase in der Röhre, Blasenlänge und Temperatur andeutete. Durch Kontrolle der Blasenlänge und des Niveaunullpunkts konnten immer die mittleren Verhältnisse eingehalten werden, für welche man bei den herrschenden Temperaturen einen mittleren Parswert von $1^P.0 = 1''.48$ annehmen kann.

Die Registrierung der Durchgangsbeobachtungen und der Signale der Riefleruhr 146 der schweizerischen geodätischen Kommission erfolgte auf einem Fueßschen Spitzenchronographen. Die Ablesung des Chronographenstreifens geschah mit der üblichen Glasskale. Die Riefleruhr ist im thermokonstanten Uhrenkeller der Sternwarte untergebracht. Stand und Gang, der sich als sehr regelmäßig herausstellte, wurden durch den täglichen Zeitdienst der Sternwarte durch Aufnahme des Pariser Zeitzeichens bestimmt. Kontaktbreite und toter Gang wurden öfters untersucht; es ergab sich im Mittel $b = 0^s.047$.

5.

Im folgenden ist das ganze Beobachtungsmaterial von 83 Polhöhenbeobachtungen tabellarisch zusammengestellt. Tab. 1 gibt die Beobachtungen nach den Sternen chronologisch geordnet mit den schließlich resultierenden Sternmitteln. Die mittlere Deklination 1939.00 ist mit den Bossschen Daten

[1]) Astron. geodät. Arbeiten i. d. Schweiz **14**.4. Zürich 1915.

aus dem PGC gerechnet worden. Die Reduktion auf den FK3 nach H. Nowacki[1]) wurde in der folgenden Kolumne angegeben. Die aus dem Berliner Jahrbuch zu entnehmenden individuellen Korrektionen für die Fundamentalsterne oder für die ab 1940.00 geführten Zusatzsterne sind durch ein * gegenüber den bloßen systematischen Korrektionen gekennzeichnet.

Unter jedem Polhöhenwert sind noch die innere Genauigkeit der Polhöhe und die Anzahl der abgelesenen bzw. beobachteten Viererkontakte verzeichnet. Die innere Genauigkeit wird durch den mittleren Fehler des arithmetischen Mittels aus den Polhöhen der Einzelkontakte dargestellt.

Tabelle 1
Einzelwerte der Polhöhe

Stern Progr.-Nr.	PGC	Name	Gr	$\delta_{1939.0}$	Red. FK3	Polhöhe $\varphi = 47^\circ 32' +$				Mittel $47^\circ 32' +$
2	672	Grb. 590	$5^m.7$	46° 58′ 39″.67	+0″.33	26″.94 ±0.16 (7)	26″.78 ±0.23 (10)			26″.85
4	1003	53 Pers	4.9	46 21 21.84	+0.34	27.11 ±0.21 (10) 26.98 ±0.18 (11)	26.93 ±0.34 (11) 27.27 ±0.13 (10)	26″.59 ±0.31 (10) 26.89 ±0.24 (7)	26″.69 ±0.24 (11) 26.69 ±0.20 (6)	26.89
5	1246	α Auri	0.2	45 56 16.98	+0.44*	26.62 ±0.13 (11) 26.77 ±0.14 (11) 26.65 ±0.16 (11) 26.76 ±0.13 (11) 26.34 ±0.12 (11)	26.88 ±0.24 (11) 26.57 ±0.35 (8) 26.49 ±0.15 (11) 26.65 ±0.20 (7)	26.38 ±0.25 (11) 26.72 ±0.17 (10) 26.81 ±0.24 (4) 27.35 ±0.18 (11)	26.73 ±0.31 (8) 26.75 ±0.26 (11) 27.21 ±0.20 (11) 26.86 ±0.13 (11)	26.70
6	1479	π Auri	4.6	45 56 0.39	+0.25	26.89 ±0.14 (11) 27.19 ±0.14 (11)	27.46 ±0.27 (11) 27.00 ±0.16 (11)	27.21 ±0.20 (11)	27.19 ±0.26 (11)	27.16
8	1779	ψ^9 Auri	6.0	46 21 12.46	+0.34	27.14 ±0.22 (11)	27.32 ±0.20 (11)	27.30 ±0.26 (11)	26.86 ±0.12 (11)	27.15
9	1860	Grb. 1281	5.7	47 21 1.33	−0.25*	27.25 ±0.14 (7) 26.79 ±0.20 (7)	27.26 ±0.14 (7)	27.32 ±0.09 (10)	27.58 ±0.20 (10)	27.32
10	2306	34 Lync	5.6	46 2 57.43	+0.38	27.00 ±0.25 (11)	26.79 ±0.22 (11)	26.70 ±0.22 (11)	26.73 ±0.21 (11)	26.80
11	2392	Pi 202	6.1	45 52 1.34	+0.37	26.93 ±0.14 (11)	26.88 ±0.22 (11)			26.88
12	2424	κ UMaj	3.6	47 23 56.64	+0.47*	27.40 ±0.21 (12) 27.42 ±0.13 (8)	27.13 ±0.25 (12) 27.11 ±0.36 (6)	27.44 ±0.07 (6) 26.98 ±0.42 (4)	27.47 ±0.10 (11)	27.27
13	2853	Pi 135	5.3	46 31 29.79	+0.14*	27.08 ±0.24 (11)	27.04 ±0.16 (11)	26.81 ±0.17 (9)	26.95 ±0.15 (11)	26.95
14	2922	Gbr. 1722	5.7	45 51 13.44	+0.36	27.06 ±0.22 (9)	26.88 ±0.22 (11)	26.80 ±0.20 (10)		26.92
15	2958	ψ UMaj	3.0	44 49 48.03	+0.38	27.34 ±0.15 (5)	28.85 ±0.24 (11)	26.83 ±0.20 (11)	26.92 ±0.09 (11)	26.96
16	3322	Grb. 1922	5.6	45 43 29.78	+0.58*	27.00 ±0.14 (10)	27.01 ±0.22 (11)	26.77 ±0.17 (11)	27.26 ±0.15 (7)	27.01
17	3396	Grb. 1956	5.9	46 35 40.04	−0.37*	27.26 ±0.23 (11)	26.57 ±0.20 (9)	27.01 ±0.21 (11)	26.94 ±0.04 (6)	26.95
18	3666	λ Boot	4.2	46 22 3.29	+0.47*	27.22 ±0.11 (11)	27.18 ±0.16 (11)	27.21 ±0.14 (11)	26.85 ±0.19 (9)	27.07
19	3789	38 Boot	5.9	46 22 10.00	+0.47	27.15 ±0.14 (10)	27.13 ±0.17 (11)	26.69 ±0.15 (11)	26.85 ±0.20 (10)	26.95
20	3985	Pi 153	6.0	46 59 51.56	+0.13	26.70 ±0.19 (11)	26.75 ±0.12 (11)			26.73

[1]) Vergleich des FK3 mit den Fundamentalkatalogen usw. Astron. Nachr. **255**.301 (1935).

Tab. 2 gibt die Abendmittel der Polhöhen aus den in der zweiten Kolumne verzeichneten, an dem betreffenden Datum beobachteten Sternen. Die Zahlen $\varphi_i - \overline{\varphi}$ geben die Abweichungen dieser Abendmittel vom Gesamtmittel. Neben den Programmnummern der Sterne sind die zugehörigen Neigungen verzeichnet. Sie stellen $\frac{1}{2}(i_E + i_W)$ in Niveauparswerten dar.

Tabelle 2

Abendmittel der Polhöhe

1939	Sterne	Neigungen	φ_i	$\varphi_i - \overline{\varphi_i}$	φ_α	$\varphi_\alpha - \overline{\varphi_\alpha}$	φ_i^*	$\varphi_i^* - \overline{\varphi_i^*}$
Jan 26	2, 4	0.72 0.44	27″02	+0″06			27″08	+0″15
28	2, 4, 5	0.22 0.33 0.41	26.78	−0.18	26″62	−0″08	26.87	−0.06
Feb 1	4, 5	0.87 1.00	26.74	−0.22	26.88	+0.18	26.83	−0.10
2	5, 6	0.41 0.39	26.64	−0.32	26.38	−0.32	26.69	−0.24
3	4, 5, 6	−0.57 −0.33 −0.12	26.95	−0.01	26.73	+0.03	27.00	+0.07
4	4, 5, 6	0.32 0.50 0.66	26.98	+0.02	26.77	+0.07	27.03	+0.10
6	4	0.17	27.27					
8	4, 5	0.11 0.13	26.73	−0.23	26.57	−0.13	26.82	−0.11
11	4, 5	0.52 0.64	26.71	−0.35	26.72	+0.02	26.80	−0.13
14	5, 6, 8	0.24 0.44 0.59	27.03	+0.07	26.75	+0.05	27.08	+0.15
15	5, 6, 8	0.24 0.45 0.59	27.04	+0.08	26.65	−0.05	27.09	+0.16
27	5	−0.09	26.49					
Mrz 2	8	−0.55	27.30					
3	5, 6, 8, 9	−1.65 −1.26 −0.95 −0.88	26.95	−0.01	26.81	+0.11	26.93	0.00
13	9, 10	0.10 0.14	27.13	+0.17			27.05	+0.12
19	9	−1.40	27.32					
20	12	0.57	27.40					
24	9	0.50	27.58					
29	10, 11, 12, 13	0.50 0.77 0.72 0.85	26.98	+0.02			26.86	+0.07
31	5, 10, 11, 12, 13	−0.79 0.07 0.26 0.48 0.59	27.04	+0.08	27.21	+0.51	27.11	+0.18
Apr 1	10, 12	0.38 0.29	27.10	+0.14			27.11	+0.18
11	5, 12	0.11 0.76	27.09	+0.13	26.76	+0.06	27.08	+0.15
12	5	1.16	26.65					
13	5	0.10	27.35					
15	12, 15, 16, 17	0.07 0.04 0.27 0.24	27.19	+0.23			27.11	+0.18
19	14, 16, 17	−0.90 0.52 0.52	26.89	−0.07			26.81	−0.12
20	5, 12, 13, 14, 15	−1.06 0.54 1.10 1.22 1.24	26.88	−0.06	26.86	+0.07	26.80	−0.13
21	5, 13, 14, 15	0.00 0.56 0.63 0.72	26.85	−0.11	26.34	−0.36	26.80	−0.13
Mai 1	15, 16	−0.01 0.48	26.71	−0.25			26.61	−0.32
6	16, 17	0.51 0.58	27.14	+0.18			27.08	+0.15
7	17, 18, 19	0.05 −1.31 −1.22	27.14	+0.18			27.09	+0.16
24	18, 19, 20	0.55 0.68 0.80	27.00	+0.04			27.02	+0.09
27	18, 19, 20	0.36 0.64 0.91	26.88	−0.08			26.90	+0.03
30	18, 19	1.06 1.14	26.85	−0.11			26.78	−0.15
		Mittelwerte	$\overline{\varphi_i} = 26″96$		$\overline{\varphi_\alpha} = 26″70$		$\overline{\varphi_i^*} = 26″93$	

In den Differenzen $\varphi_i - \overline{\varphi_i}$ steckt der Polhöhenschwankungseffekt. Trägt man die $\varphi - \overline{\varphi_i}$ graphisch auf, so zeigt die aus den Einzelwerten der $\varphi_i - \overline{\varphi_i}$ graphisch gemittelte Kurve den Verlauf der Polhöhenschwankungen. Die Frage ist nur, wie weit wir diese Schwankungen als reell aufzufassen haben, denn in den $\varphi_i - \overline{\varphi_i}$ stecken ebenfalls noch die Unsicherheiten der Deklination der einzelnen Sterne. Es konnte nun über den größten Teil der Beobachtungsepoche der Stern 5 des Programms, α Auri (Capella) wegen seiner Helligkeit fortlaufend beobachtet werden. Die sich aus den Beobachtungen von Capella allein ergebenden Polhöhen sind unter φ_α in der Tabelle aufgeführt. Trägt man die Werte $\varphi - \overline{\varphi_\alpha}$ ebenfalls auf und mittelt sie graphisch, so läuft die gemittelte Kurve durchweg der Kurve aus den Abendmitteln parallel. Ermitteln wir also aus den Schwankungen der Polhöhen von α Auri allein die Werte der Polhöhenschwankungen für die mittleren Beobachtungsepochen der einzelnen Sterne des Programms und reduzieren wir so alle Sternmittelwerte auf eine mittlere Polhöhe, so können wir mit diesem genäherten Verfahren provisorische Deklinationsverbesserungen für die einzelnen Sterne rechnen. Diese Deklinationsverbesserungen bestimmen sich dann einfach als die Abweichungen vom neuen Gesamtmittel. Sind die wegen der so aus der Polhöhenkurve von Capella gerechneten Polhöhenschwankungen reduzierten Sternmittel l_i und x_i die Deklinationsverbesserungen, so haben wir

$$l_i + x_i = \varphi_0 .$$

Hierbei ist $\varphi_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} l_i$, denn wir nehmen an, daß im Mittel die Deklinationsverbesserungen die mittlere Polhöhe nicht ändern, d. h. $\sum_{i=1}^{n} x_i = 0$.

Mit diesen genäherten Deklinationsverbesserungen wurden dann die Polhöhen φ_i^* neu gerechnet. Die Kurve der $\varphi_i^* - \overline{\varphi_i^*}$ erweist sich dann als geglättet, zeigt aber die Polhöhenschwankungen immer noch recht deutlich, vor allem im Anfang der Beobachtungsepoche. Die Capellahöhen weisen zum Schluß eine beträchtliche Streuung auf, die sich aber zwanglos durch die größere Unsicherheit der Durchgangsbeobachtungen und der Neigungsbestimmung bei Mittagsbeobachtungen, wenn die Sonne in die Passagenhütte scheint, erklären läßt.

6.

Das einfache Gesamtmittel aus allen 83 Beobachtungen ist

$$47^\circ 32' 26''.975$$

mit dem mittleren Fehler

$$m_g = \pm\sqrt{\frac{5.7917}{83 \cdot 82}} = \pm 0''.029 .$$

Das Endmittel aller Abendmittel ist $26''.97$

» » » Sternmittel » 26.98 .

Setzt man die Gewichte der einzelnen Mittel der Anzahl der Beobachtungen proportional, so erhält man für das Gewichtsmittel aus den Sternmitteln

$$\varphi = 47^\circ 32' 26''.96 .$$

Das Gewichtsmittel aus den Abendmitteln ist diesem gleich, da kein Stern weniger als zweimal beobachtet wurde.

Für die mittleren Fehler jedes einzelnen Mittels gilt

$$(n_i - 1)\mu_i^2 = [\epsilon_i^2] \quad (\epsilon_i = \text{Abweichungen vom Mittel}),$$

also für die Summe aller einzelnen mittleren Fehler

$$\sum_{i=1}^{\nu} (n_i - 1)\mu_i^2 = \sum_{i=1}^{\nu} [\epsilon_i^2] .$$

Man kann im Durchschnitt $\mu_1^2 = \mu_2^2 = \cdots \mu_\nu^2$ annehmen, wenn man den mittleren Fehler aller Einzelmittel bestimmen will, d. h.

$$\mu^2 = \frac{\sum_{i=1}^{\nu} [\epsilon_i^2]}{N - \nu} , \text{ wenn } \sum_{i=1}^{\nu} n_i = N \text{ und } \nu \text{ die Anzahl aller unabhängigen Mittel ist.}$$

Demnach erhalten wir für eine Beobachtung gerechnet aus

dem Sternmittel $\mu_s = \sqrt{\frac{2.0763}{83 - 17}} = \pm 0''.18$

» Abendmittel $\mu_a = \sqrt{\frac{2.4211}{76 - 26}} = \pm 0''.22$

und als mittleren Fehler des Endmittels

aus den Sternen $m_s = \frac{1}{\sqrt{83}}\mu_s = \pm 0.020$

» » Abenden $m_a = \frac{1}{\sqrt{83}}\mu_a = \pm 0.024 .$

Einer einzelnen Polhöhenbestimmung an einem Abend können wir also die Genauigkeit $\pm 0''.22$ zulegen.

Wirft man den ganzen Unterschied des mittleren Fehlers der Abend- und der Sternmittel auf die Deklinationsfehler der Sterne, indem man weitere systematische Fehler, wie Azimutschwankungen, als bei den Messungen ausgeschaltet ansieht, so können wir den mittleren Katalogfehler des FK3 herleiten. Die Ungenauigkeit μ_a jeder einzelnen abendlichen Beobachtung setzt sich dann linear aus der Unsicherheit der Deklination des Sterns μ_δ und dem dem Stern eigentümlichen Fehler μ_s zusammen; somit haben wir

$$\mu_a^2 = \mu_\delta^2 + \mu_s^2 ,$$

also in unserem Falle $\mu_\delta^2 = \mu_a^2 - \mu_s^2 = 0.0484 - 0.0315 = 0.0169 .$

Der Katalogfehler des FK3 im Deklinationsintervall $45° - 47°.5$ ist also $\mu_\vartheta = \pm 0''.13$. (In den Monaten Juni–Juli 1938 waren Horrebow-Talcottmessungen vergleichsweise zur Bestimmung der Basler Polhöhe, als das Passageninstrument noch im Meridian stand, vorgenommen worden. Aus den Messungen von 101 Sternpaaren hatte sich ebenfalls ein Katalogfehler von $\pm 0''.14$ für das Deklinationsmittel $47°.5$ ergeben).

Die innere Genauigkeit unserer Messungen ist durch die Formel (7) gegeben. Aus dem Durchschnitt der in Tab. 1 mitgeteilten inneren Genauigkeiten erkennt man, daß im Mittel die innere Unsicherheit jeder einzelnen Polhöhe etwa $0''.17$ beträgt. Das ergibt für die Konstante b in Formel (7) übrigens den Wert $b = 3^s.6$. Trümpler[1]) hatte früher bei den Längenbestimmungen durch Zeitbeobachtungen im Meridian mit dem Repsoldschen Mikrometer für unser Passageninstrument für die Konstante $b = 2^s.9$ ermittelt. Das Maximum an innerer Genauigkeit ist also bei unseren Beobachtungen noch nicht ganz herausgeholt worden.

Man erkennt aber, daß die Unsicherheit einer Sternpolhöhe nur wenig größer als die innere Unsicherheit ist. Der geringe Unterschied $|\mu_\varphi - \mu_s| = 0''.01$ beweist, daß durch Anbringung der Neigungskorrektion die innere Genauigkeit nur ganz geringfügig geändert wird. Die Unsicherheit der Neigungskorrektion ist also nur ein geringer Unsicherheitsfaktor bei unserer Messung.

7.

Für die Polhöhe des Passageninstrumentes der Sternwarte Basel erhalten wir somit im System des FK3 nach der Struveschen Methode bei Verwendung des selbstregistrierenden Mikrometers aus 83 Beobachtungen für

$$1939.25 \quad \varphi = 47° 32' 26''.96 \pm 0''.024 .$$

101 Sternpaare waren am gleichen Instrument im Sommer 1938 nach der Horrebow-Talcottschen Methode beobachtet worden. Sie ergaben als Polhöhe für

$$1938.50 \quad \varphi = 47° 32' 26''.76 \pm 0''.073 .$$

Eine Extrapolation der bis 1938.00 vorliegenden Breitenschwankungen[2]) läßt vermuten, daß der Polhöhenunterschied von $0''.20$ der beiden Methoden auf die Epochendifferenz zurückzuführen ist.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem Lehrer, Herrn Professor Niethammer für die Überlassung der Ausführung seiner Idee der Anwendung des Repsoldschen Mikrometers im ersten Vertikal durch Konstruktion einer mechanischen Nachführung der Fernrohrachse und für sein förderndes Interesse an dieser Arbeit, die unter seiner Leitung entstand, zu danken.

[1]) Astron. geodät. Arbeiten i. d. Schweiz **14**.8. Zürich 1915.

[2]) H. R. Hulme: Prelim. values of the variation of latitude at Greenwich during 1936–1938. Monthly Not. Roy. Astron. Soc. London **99**.204 (1939).

Curriculum Vitae

Am 7. Juli 1914 wurde ich als Sohn des verstorbenen Graphikers Hugo Fleckenstein und seiner Frau Antonie, geb. Herding, in Düsseldorf geboren. Ich besuchte dort das städtische humanistische Gymnasium, das ich Ostern 1933 mit dem Zeugnis der Reife verließ, um Mathematik und Naturwissenschaften zu studieren. Ich besuchte zuerst die Universität Frankfurt a. M., wo ich bei den Herren Siegel und Magnus Mathematik, Meißner und Dessauer Physik, v. Braun und Bonhoeffer Chemie in Vorlesungen und Übungen hörte. Im Wintersemester 1933-34 war ich in Köln und Bonn immatrikuliert, wo ich Vorlesungen und Übungen bei folgenden Dozenten belegt hatte: Fischer und Dörge in Mathematik, Szivessy in Physik, Pfeiffer in Chemie und Brauns in Krystallographie.

Im Wintersemester 1934-35 setzte ich meine Studien in Basel fort. Ich widmete mich vor allem dem Studium der Astronomie und Mathematik bei den Herren Niethammer und Ostrowski. Meine Ausbildung in Physik verdanke ich den Herren Matthies und Hagenbach. Ich hörte in Basel ferner noch Vorlesungen bei folgenden Dozenten: Bernoulli, Schmalenbach und Zickendraht, Wehrli, Spieß, Zehnder, Bodewig, Flatt und Miescher.

Allen Dozenten danke ich für die Förderung meiner Studien, insbesondere aber den Herren Niethammer und Ostrowski.

Zu ganz besonderem Dank aber bin ich Herrn Professor Niethammer verpflichtet, der stets meine astronomische Ausbildung überwachte, mir die Ausführung seiner Idee der »Verwendung des selbstregistrierenden Mikrometers im 1. Vertikal mittels mechanischer Nachführung der Fernrohrachse« überließ und durch die Anstellung als Hilfsassistent an die Astronomisch-Meteorologische Anstalt der Universität Basel mir die Ausführung der Messungen und die Abfassung der Dissertation, die im Juni 1938 unter seiner Leitung begann, und damit den Abschluß meiner Studien überhaupt erst in jeder Hinsicht ermöglichte.

Druck von C. Schaidt, Inhaber Georg Oheim, Kiel